Erste Datierungs-Ergebnisse von Knochenproben aus dem österreichischen Pleistozän nach der Uran-Serien-Methode

Von KARL MAIS[1], GERNOT RABEDER[2], HERBERT VONACH[3] und EVA WILD[3]

Mit 4 Abbildungen und 1 Tabelle

(Vorgelegt in der Sitzung der mathem.-naturw. Klasse am 21. Jänner 1982 durch das w. M. HELMUTH ZAPFE)

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung

Für die Datierung von mittel- und jungpleistozänen Wirbeltierresten, deren geologisches Alter mit der Radiokarbon-Methode nicht mehr erfaßt werden kann und deren biostratigraphische Einstufung dem Paläontologen besondere Schwierigkeiten bereitet, wurde die Uran-Serien-Methode adaptiert und weiterentwickelt.

Es werden die dazu angewandten Trennverfahren sowie die physikalische Meßtechnik kurz beschrieben.

Die an vier Knochenproben erzielten Daten sind gut mit den paläontologischen Befunden in Einklang zu bringen.

Summary

The U-series method was adapted and applied for dating Middle and Late Pleistocene vertebrate bones. It is not possible to apply the conventional radiocarbon-method to these remains, which are especially difficult to classify biostratigraphically.

[1] Institut für Höhlenforschung am Naturhistorischen Museum, Wien
[2] Institut für Paläontologie der Universität Wien
[3] Institut für Radiumforschung und Kernphysik der Österreichischen Akademie der Wissenschaften

The methods of chemical separation of Uranium and Thorium from the bone matrix and the physical techniques of preparation and α-counting of the samples are briefly described.

In case of 4 bone samples studied, the ages found by the U-series method are in reasonable agreement with paleontological expectations.

1. Paläontologische Problemstellung

Die Möglichkeit einer absoluten Altersbestimmung von Fossilien, deren geologisches Alter so hoch ist, daß es mit der Radiokarbon-Methode derzeit nicht erfaßt werden kann, wäre für viele paläontologische Fragen (Biostratigraphie, Phylogenie, Faunengeschichte) von großer Bedeutung; so kennen wir z. B. zahlreiche fossilführende Höhlen im österreichischen Alpengebiet, aber auch im Vorland, deren biostratigraphische Stellung auf Grund des Faunenbestandes nicht näher präzisiert werden kann, als daß sie dem Mittel- und Jungpleistozän angehören. Das gilt vor allem für die vielen „Bärenhöhlen“, die z. T. massenhaft Knochen des Höhlenbären, *Ursus spelaeus,* enthalten. Der Großteil der hochalpinen Höhlenbären-Faunen wird der Riß/Würm-Zeit, also dem Jungpleistozän, zugeschrieben, doch es besteht auch die Möglichkeit, daß manche Höhlen schon in der Mindel/Riß-Zeit bewohnt waren.

Ähnliche Probleme bestehen für die „mittelpleistozänen“ und „jungpleistozänen“ Lößfaunen.

2. Forschungsprojekt

Die für diese Untersuchungen notwendigen Arbeiten und Geräte wurden durch ein Forschungsprojekt des „Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung in Österreich“ finanziert. Das Projekt hat die Nr. 3671 und läuft unter dem Titel „Altersbestimmung von Fossilien nach der Uran-Thorium- und Uran-Protactinium-Methode“

3. Ausgewählte Proben

Für die erste Erprobung der Uran-Serien-Methode wurden drei Fundstellen ausgewählt, die nach dem paläontologischen Befund dem Jungpleistozän zugehören und die auch mit der C^{14}-Methode datiert werden können. Von einer Fundstelle liegt ein solches Datum schon vor, für die beiden anderen ist eine C^{14}-Datierung geplant.

Als vierte Probe wurden Knochen aus einer Spaltenfauna ausgewählt, deren Artenbestand auch ein wesentlich höheres geologisches Alter zuläßt.

Die ausgewählten Fundstellen sind:

Köhlerwandhöhle, jungpleistozäne Bärenhöhle bei Traisen in Niederösterreich [1],

Teufelslucke, jungpleistozäne Hyänenhöhle bei Eggenburg in Niederösterreich [2],

Stillfried, Paläolithstation (Gravettien) im Löß von Stillfried an der March (Niederösterreich) [3],
St. Margarethen, mittel- oder jungpleistozäne Spaltenfauna mit mediterranen Arten [4].

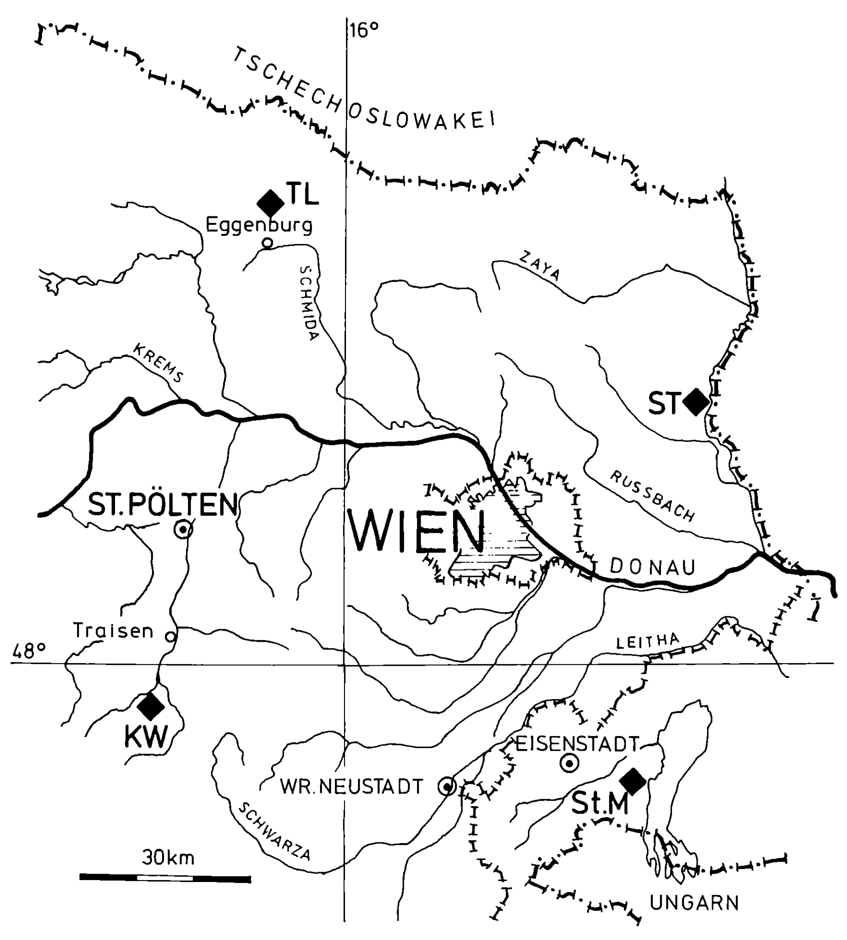


Abb. 1: Lageskizze der Fundstellen.

4. Die U-Serien-Methode zur Altersbestimung von Fossilien

4.1. Theoretische Grundlagen

Unter den Methoden zur Altersbestimmung von Fossilien nimmt die Uran-Serien-Methode eine bevorzugte Stellung ein. Sie bietet die Möglichkeit zur absoluten Altersbestimmung von Fossilien in einem Zeitbereich, der weit über den der C^{14}-Methode zugänglichen (ca. 50.000 Jahre) hinausgeht.

Die Voraussetzung für diese Methode ist die Tatsache, daß im Boden eingelagerte Fossilien (Knochen, Muscheln usw.) aus ihrer Umgebung Uran aufnehmen. Eine weitere Voraussetzung und Einschränkung besteht darin, daß die ebenfalls in der Uranzerfallsreihe auftretenden Elemente Th^{230} und Pa^{231} auf Grund ihrer chemischen Eigenschaften (geringere Löslichkeit) vom Boden nicht oder nur in geringem Ausmaß in die Fossilien gelangen. Dies bedeutet aber, daß in Fossilien zwischen Uran und seinen Zerfallsprodukten eine Abweichung vom radioaktiven Gleichgewicht aufgebaut wird [5].

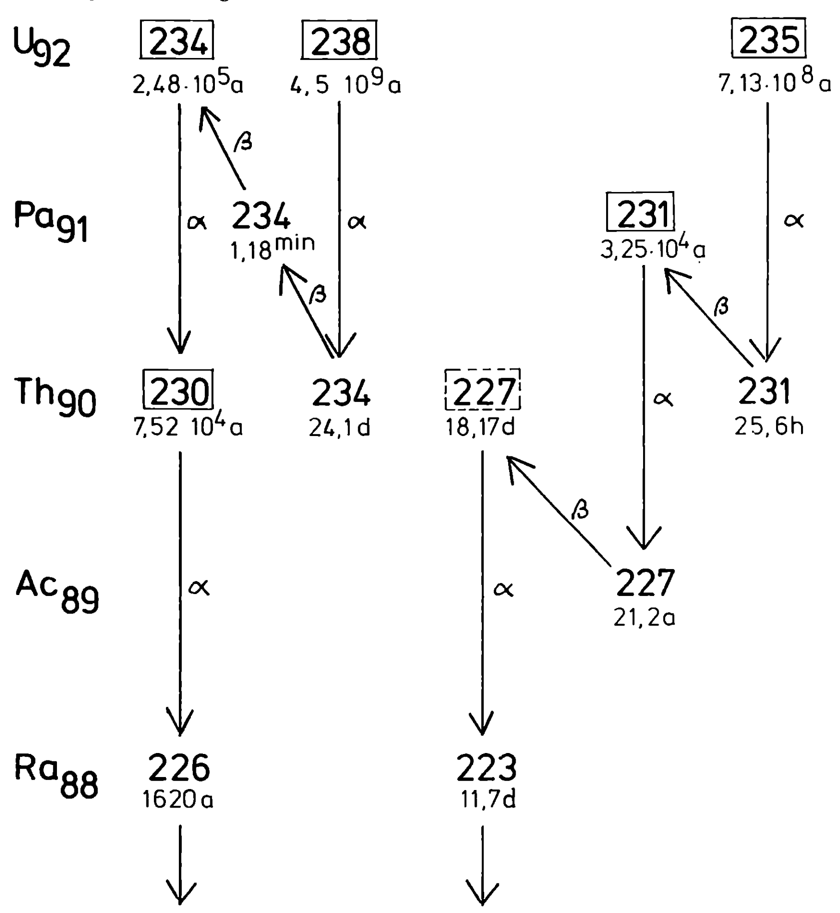


Abb. 2: Uranzerfallsketten. Die umrandeten Elemente sind diejenigen, die auf Grund ihrer Halbwertszeiten und der vorher erwähnten Abweichung vom Gleichgewichtswert die Möglichkeit zur Datierung pleistozäner Fossilien bieten.

Erfolgt nach einer größeren Uranaufnahme des Fossils aus dem Boden kein weiterer Uranaustausch zwischen Fossil und Umgebung, so ist die Probe als „geschlossenes System" darstellbar. Durch Messung der

Aktivitäten von U^{234}, U^{238} und Th^{230} und unter Anwendung des radioaktiven Zerfallsgesetzes auf die Kette U^{238}, U^{234}, Th^{230} kann aus Gleichung (1) das Alter t der Probe bestimmt werden.

$$\frac{Th^{230}}{U^{234}} = \frac{U^{238}}{U^{234}} \left[1 - \exp\left(-\lambda_{Th^{230}} t\right)\right] + \left(1 - \frac{U^{238}}{U^{234}}\right) \left(\frac{\lambda_{Th^{230}}}{\lambda_{Th^{230}} - \lambda_{U^{234}}}\right) \left\{1 - \exp\left[-\left(\lambda_{Th^{230}} - \lambda_{U^{234}}\right) t\right]\right\} \quad (1)$$

Th^{230}, U^{234}, U^{238}	Aktivitäten der einzelnen Elemente,
$\lambda_{Th^{230}}$, $\lambda_{U^{234}}$	Zerfallskonstanten,
t	Probenalter.

Die unterschiedliche Löslichkeit von U^{234} und U^{238} bzw. U^{235} findet in Gleichung (1) ihren Ausdruck im Verhältnis U^{238}/U^{234}, das im Gleichgewichtsfall gleich 1 sein müßte. Abweichungen vom Gleichgewichtswert wurden zum ersten Mal 1955 von CHERDYNTSEV bei Untersuchungen von sekundären Uranmineralien entdeckt [6]. 1963 stellten ROSHOLT *et al.* ebenfalls Abweichungen im U^{234}/U^{235}-Aktivitätsverhältnis von ± 40 % bei Sandsteinablagerungen fest [7]. THURBER publizierte 1962 Werte von 1,7 bis 3,3 für das Aktivitätsverhältnis U^{234}/U^{238} in Karbonatproben [8]. ROSHOLT *et al.* erklärten diesen Effekt als Folge der leichteren Löslichkeit von U^{234} in bezug auf U^{238} und U^{235} (siehe auch Kapitel 4.2.2.). Dies kann zur Folge haben, daß an einer Stelle des Bodens U^{234} herausgelaugt wird, also ein Defizit an U^{234} besteht, dieses mobile U^{234} aber an einem anderen Ort jedoch eingelagert wird und einen größeren Überschuß an U^{234} bewirkt.

THURBER fand bei Untersuchungen von Meerwasserproben einen nahezu konstanten Überschuß an U^{234} von 15 % [9], und BLANCHARD stellte diesen Überschuß ebenfalls bei Untersuchungen mariner Küstenablagerungen fest [10]. Aus diesen Überlegungen geht die Notwendigkeit der Bestimmung des Verhältnisses der Aktivitäten von U^{234} und U^{238} und dessen Berücksichtigung bei der Berechnung des Probenalters hervor.

Ein wesentlicher Punkt bei der U-Serien-Methode ist die Tatsache, daß sich eine Probe in bezug auf ihre Umgebung nicht immer als „geschlossenes System" behandeln läßt. Bildet eine Probe mit ihrer Umgebung ein dynamisches System, das heißt, besteht zwischen Probe und Umgebung ein dauernder Austausch an Uran, so ist die Probe als „offenes System" zu betrachten.

Die Klärung der Frage, ob eine Probe als offenes oder als geschlossenes System behandelbar ist, ist mit Hilfe einer Kontrollmessung möglich. Das Uranisotop U^{235} zerfällt über Th^{231} ($T_{1/2}$ = 25,6 h) in Pa^{231} ($T_{1/2} = 3{,}25.10^4$ h). Aus dem Aktivitätsverhältnis von Pa^{231}/U^{235} kann in analoger Weise, wie für das Verhältnis Th^{230}/U^{234} (siehe Gleichung [1]) beschrieben, eine weitere Altersbestimmung für dieselbe Probe vorgenommen werden [11, 12, 13]:

$$Pa^{231} = U^{235} [1 - \exp(-\lambda_{Pa^{231}} t)] \quad (2)$$

Stimmen die beiden so erhaltenen Alter einer Probe überein, so wird diese Übereinstimmung als Hinweis gewertet, daß die Probe als geschlossenes System behandelt werden kann. Besteht zwischen den beiden Datierungen eine Diskrepanz, so ist eine absolute Altersbestimmung nur mit Hilfe von Modellannahmen, die den Uranaustausch mit der Umgebung beschreiben („offenes System"), möglich.

Durch die Bestimmung einer eventuell auftretenden Th^{232}-Aktivität kann festgestellt werden, ob die Th^{230}-Aktivität einer Probe rein radioaktiven Ursprungs ist oder ob die Probe doch auch geringe Mengen an Thorium aufgenommen hat [5, 14]. Tritt Th^{232} in einer Probe auf, so muß die Th^{230}-Aktivität für den Anteil, der von in die Probe hineingewandertem Th^{230} stammt, korrigiert werden.

4.2. Modelle für offene Systeme

Das Problem der Konstruktion von Modellen, die das dynamische Verhalten des Austausches von Uran im System Boden-Fossil beschreiben (offenes System), wurde in der Literatur von Szabo und Rosholt (Modell I) und von Hille (Modell II) behandelt.

4.2.1. Modell I

Beim Vergleich der Th^{230}/U^{234}- und Pa^{231}/U^{235}-Alter von pleistozänen Muschel- und Korallenproben konnte von mehreren Autoren [12, 15, 16, 17] keine Übereinstimmung festgestellt werden, d. h., die Proben konnten nicht als „geschlossene Systeme" behandelt werden. Rosholt [15] fand bei Muschelproben pleistozäner mariner Ablagerungen in Kalifornien einen Überschuß an Pa^{231} relativ zu U^{235}. Er erklärt dies durch das Auftreten mobiler Uranmengen, die durch die Proben durchwanderten, also nicht in ihnen verblieben, ihre Zerfallsprodukte Th^{230} und Pa^{231} jedoch in die Proben eingelagert wurden.

Szabo und Rosholt entwickelten ein Modell für „offene Systeme" zur Datierung pleistozäner Proben, das den Uranaustausch zwischen Probe und Umgebung beschreibt. Diesem Modell liegen folgende Annahmen zugrunde:

1. Pa^{231} und Th^{230} sind ausschließlich radiogenen Ursprungs und stammen vom Zerfall des in die Probe eingelagerten Urans wie auch von Uran, das die Probe durchwanderte.
2. Das in der Probe gebildete Pa^{231} und Th^{230} wird aus dieser nicht mehr herausgewaschen.
3. Im Wasser, das in die Umgebung der Probe eintritt, zeige das Verhältnis U^{234}/U^{238} einen großen Überschuß an U^{234}.
4. Die Urankonzentration im Wasser und das U^{234}/U^{238}-Verhältnis können kurzfristigen Schwankungen unterlegen sein, die langfristigen Durchschnittswerte der Konzentration und der Isotopenzusammensetzung sollten hingegen weitgehend konstant geblieben sein.

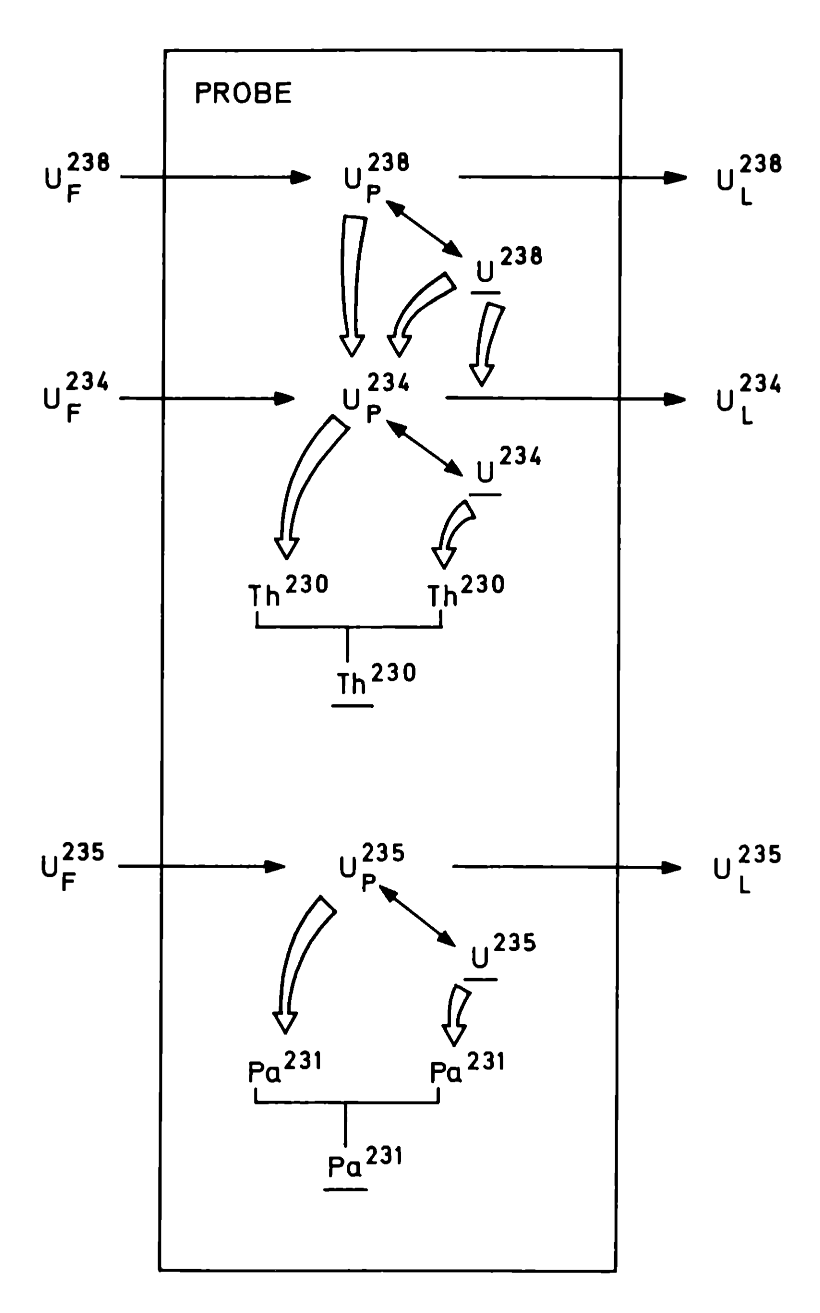


Abb. 3: Diagramm zur Veranschaulichung des ,,Uranflusses" durch die Probe und der Anreicherung von Pa^{231} und Th^{230} in der Probe [15].

UF (Uranium flux) ist definiert als die gesamte Menge Uran, der die Probe ausgesetzt war;
UL (Uranium leached) ist die Menge Uran, die aus der Probe wieder ausgetreten ist;
U (Uranium fixed) ist die Menge Uran, die in der Probe verblieb, ebenso **Th** und **Pa**;
UP (Uranium in pore water) ist die Menge Uran, die zwar fast ganz aus der Probe wieder austrat, jedoch Tochterprodukte lieferte, die in der Probe verblieben sind.

Die detaillierte mathematische Beschreibung dieses Modells ist bei Ref [15, 16] ausgeführt.

Datierungen, denen das „open-system-model" von Szabo und Rosholt zugrunde liegt, ergaben in vielen Fällen, in denen das Modell des „geschlossenen Systems" widersprüchliche Ergebnisse lieferte, befriedigende Werte [14, 18].

4.2.2. Modell II [19]

Das Modell eines offenen Systems von Hille beruht auf der Annahme, daß alle radioaktiven Zerfallsprodukte, einschließlich U^{234}, die durch den Zerfall von der Menge U^{238} stammen, die ein Fossil durchwanderte bzw. in ihm eingelagert wurde, in der Probe chemisch stabil verbleiben. Für Pa und Th ist diese Annahme auf Grund des sehr langsamen Hineinwanderns von Pa und Th in Muscheln und Knochen gerechtfertigt. Für U^{234} wird dies dadurch begründet, daß durch den α-Rückstoß und die Ionisation und Anregung des durch den Zerfall produzierten Atoms („heißes Atom") ein relativ stabiler Endzustand, d. h. eine chemisch relativ stabile Bindung, erreicht wird. Diese Annahme steht im Gegensatz zum Mechanismus des Auslaugens von Uran aus Gesteinsmaterial, wo Uran chemisch stabil ist, da die Uranatome an Kristallgitterplätzen sitzen, aus denen sie durch den α-Zerfall herausgeschlagen werden und dadurch höhere Beweglichkeit erlangen.

Die zweite Annahme besteht darin, daß die Konzentration des chemisch weniger stabilen Urans, das während des Verwesungsprozesses in die Probe hineinwanderte, sich im Laufe der Zeit entsprechend dem folgenden Exponentialgesetz ändern kann:

$$^{234,235,238}U\,(t) = {}^{234,235,238}U\,(0)\;e^{-at} \qquad (3)$$

Die unbekannte Konstante a stellt hier eine Art „chemische Zerfallskonstante" dar. Da fossile Muscheln und Knochen einen großen Überschuß in der Konzentration von Uran relativ zu ihrer Umgebung aufweisen, erscheint dieses Exponentialgesetz plausibel. Mit diesem Modell für „offene Systeme" wurden Datierungen von Meeresterrassen von Südkalifornien neu durchgeführt, wobei die experimentellen Daten für eine Altersbestimmung nach dem Modell von Szabo und Rosholt

herangezogen wurden [16]. Das Modell von HILLE ergibt für die ersten Terrassen von San Pedro und Santa Monica übereinstimmende Alter $(78 \pm 7).10^3$ bzw. $(80 \pm 5).10^3$ Jahre, und diese Alter stimmen mit dem Alter der ersten Terrassen von Barbados überein [12]. Nach Berechnungen mit dem Modell von SZABO und ROSHOLT divergierten die Alter dieser Terrassen überraschenderweise. Dies führte für die Autoren zu Interpretationsschwierigkeiten. Nach dem Modell von HILLE stimmt auch das Alter der zweiten Terrasse von Santa Monica mit dem Alter der zweiten Terrasse von Barbados überein. Dies läßt darauf schließen, daß an beiden Orten die Terrassenformation im gleichen zeitlichen Verlauf stattgefunden hat.

4.3. Experimentelles

Der experimentelle Teil sei hier nur kurz beschrieben. Eine ausführliche Darstellung findet sich in Ref. [20, 21].

Wie bereits erwähnt, ist zur Datierung von Fossilien nach der U-Serien-Methode die Bestimmung der Aktivitäten von Th^{230}, Pa^{231}, U^{234} und U^{238} in einer Probe notwendig. Die Feststellung der Pa^{231}-Aktivität erfolgt indirekt über die Tochtersubstanz Th^{227}, die ebenfalls α-Aktivität aufweist [22]. Alle zu untersuchenden Elemente sind α-Strahler. Da jedoch verschiedene U- bzw. Th-Isotope ähnliche α-Energien aufweisen, ist die chemische Trennung der Uran- bzw. Thoriumfraktionen auf Grund des endlichen Energieauflösungsvermögens des α-Spektrometers erforderlich.

Zu diesem Zweck werden die gereinigten und zerkleinerten Knochenproben mit einem sauren Druckaufschluß in Lösung gebracht [23]. Die chemische Isolierung der Uran- und Thoriumfraktionen aus der Knochenmatrix erfolgt mittels Ionenaustauscheroperationen [23]. Zur α-spektrometrischen Feststellung der interessierenden Aktivitäten ist die Herstellung dünner homogener Uran- bzw. Thoriumpräparate notwendig. Schichten der erforderlichen Qualität wurden durch elektrolytische Abscheideverfahren erzielt [24, 25].

Die Spektroskopie der α-Linien erfolgt mit einem Si-Halbleiterdetektor, der in einer Vakuumkammer montiert ist. Die mit der Meßanordnung erzielte Gesamtauflösung beträgt $\sim$ 100 keV Diese Auflösung erlaubt eine Trennung der verschiedenen α-Linien.

4.4. Meßergebnisse

Mit dem in Kapitel 4.3. beschriebenen Verfahren zur Altersbestimmung von fossilen Knochen wurde an vier Knochenproben eine absolute Datierung vorgenommen. Die Proben stammten von folgenden Fundorten:

Köhlerwandhöhle (KW), Teufelslucke (TL), Stillfried (STB) und St. Margarethen (ST.M). Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die gemessenen Aktivitätsverhältnisse und das daraus errechnete Alter der Proben.

Tabelle 1: Meßergebnisse

Fundstellen	$U_{[ppm]}$	$\frac{U^{234}}{U^{238}}$	$\frac{Th^{230}}{U^{234}}$	$\frac{Th^{227}}{U^{235}}$	Alter (Jahre)
Köhlerwandhöhle	3,5	1,079 ± 8,7 %	0,156 ± 18 %	—	$18.000 \pm^{6.000}_{6.000}$
Teufelslucke	21	1,177 ± 2,5 %	0,196 ± 5,2 %	—	$23.000 \pm^{1.300}_{1.300}$
Stillfried	35,5	1,1 ± 2,5 %	0,129 ± 3,5 %	0,275 ± 16 %	$20.000 \pm^{900}_{900}$
St. Margarethen	158	0,885 ± 2 %	0,78 ± 3,3 %	0,99 ± 5,4 %	$175.000 \pm^{62.000}_{39.000}$

Die in Tabelle 1 angegebenen Fehler der nach der U-Serien-Methode bestimmten Alter der Proben stellen jeweils die maximalen Abweichungen (gerundet) vom wahrscheinlichen Probenalter dar, die sich unter Berücksichtigung des 1σ-Fehlers der für die Berechnung des Alters

herangezogenen gemessenen Aktivitätsverhältnisse U^{238}/U^{234}, Th^{230}/U^{234} für „geschlossene Systeme" bzw. U^{234}/U^{238}, Th^{230}/U^{234} und Th^{227}/U^{235} für das Modell II eines „offenen Systems" ergeben.

Bei der Probe ST.M wurde eine Bestimmung der Th^{227}-Aktivität durchgeführt, um die Probe nach dem Modell II für „offene Systeme" zu behandeln.

Trägt man den Meßwert in die mit einem Computer nach dem Modell II erstellte Kurvenschar ein, so ist daraus ersichtlich, daß der Meßwert sehr nahe der a = 0-Linie (entspricht dem geschlossenen System) liegt (Abb. 4). Dem Fehler des Probenalters liegen die Berechnungen nach Modell II zugrunde, d. h., er beinhaltet auch die Unsicherheit dieses Modells.

Die Probe STB wurde ebenfalls nach dem Modell II behandelt. Auch in diesem Fall liegt der Meßwert nahe der a = 0-Linie. Da die a-Werte (chemische Zerfallskonstante) für junge Proben relativ groß sein müssen, um eine wesentliche Abweichung vom geschlossenen System zu bewirken, wurden die jungen Proben KW, TL und STB als geschlossene Systeme behandelt, wodurch sich auch eine Bestimmung der Th^{227}-Aktivität erübrigt. Der für die Probe STB in Tabelle 1 angegebene Fehler des Alters beruht auf den Berechnungen nach dem geschlossenen System.

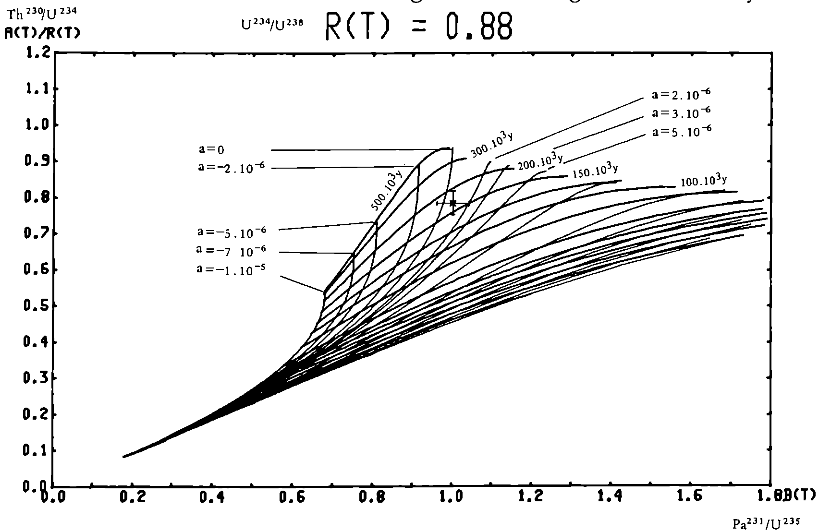


Abb. 4: Die Aktivitätsverhältnisse Th^{230}/U^{234} und Pa^{231}/U^{235} sind als Funktion des Probenalters entsprechend dem Modell II für offene Systeme dargestellt. Die gemessenen Werte der Probe „ST.M" sind eingezeichnet (siehe Text).

5. Paläontologische Diskussion der Meßergebnisse

Die Wirbeltierfunde aus der Köhlerwandhöhle, aus der Teufelslucke und von Stillfried werden auf Grund der Faunenelemente dem Jungpleistozän zugeordnet.

Von Stillfried liegt außerdem eine mit der Radiokarbon-Methode erzielte Altersbestimmung (28.000 Jahre) vor, und zwar aus der Bodenbildung „Stillfried B“ Der hier untersuchte Knochen lag im Sediment einige Meter über dem Paläoboden „Stillfried B“, was mit dem geringeren Alterswert gut übereinstimmt. Die Teufelslucke war im Jungpleistozän eine typische Hyänenhöhle, bewohnt von der Höhlenhyäne, *Crocuta spelaea,* welche die Anhäufung von auf typische Weise zerbissenen Knochen verursacht hat. Diese Knochen stammen vorwiegend von Großsäugern, die als Bewohner einer Kaltsteppe gelten: Mammut, Wollhaarnashorn, Pferd, Rentier, Riesenhirsch [2]. Nach diesem Formenbestand müssen die Hyänen-Fraßreste aus der Teufelslucke einem Interstadial oder einem Stadial der Würm-Kaltzeit zugeschrieben werden. Der mit der Uran-Serien-Methode erzielte Alterswert stimmt mit der paläontologischen Datierung gut überein.

Die Köhlerwandhöhle ist eine typische Bärenhöhle. Sie wurde ausschließlich von dem pflanzenfressenden Höhlenbären, *Ursus spelaeus,* bewohnt. Auch der Höhlenbär gilt nicht als Waldbewohner, sondern bevorzugte die alpinen Rasenhänge oberhalb der Baumgrenze. Das Klima war zur Zeit der Besiedelung der Köhlerwandhöhle durch den Höhlenbären wahrscheinlich deutlich kälter als heute, und die Baumgrenze lag viel tiefer. Das ermöglicht die Einstufung in ein Interstadial oder Stadial der Würm-Kaltzeit. Auch hier besteht eine gute Übereinstimmung mit der absoluten Altersangabe.

Die vierte mit der Uran-Serien-Methode gemessene Knochenprobe entstammt einer Fauna, deren Elemente ein wesentlich wärmeres Klima anzeigen. Die Fauna von St. Margarethen enthält wärmeliebende Schlangenarten *(Coluber gemonensis* und *Coluber viridiflavus),* die auf ein Klima schließen lassen, das wesentlich wärmer war als das heutige. Da andererseits die Wühlmausarten und die Spitzmäuse eine altersmäßige Abgrenzung nach unten zulassen, kann die Fauna von St. Margarethen nur entweder dem Riß/Würm-Interglazial oder dem Mindel/Riß-Interglazial angehören. Das durch die Uran-Serien-Methode erzielte Ergebnis ermöglicht die Einstufung in die Mindel/Riß-Warmzeit.

Die gute Übereinstimmung der Meßdaten durch die Uran-Serien-Methode mit den paläontologischen Befunden berechtigen uns zu der Hoffnung, daß diese Methode entscheidende Daten für die Biostratigraphie des Mittel- und Jungpleistozäns liefern wird.

Literatur

(1) Mais, K. (1962): Nachweis des Höhlenbären (Ursus spelaeus Rosenm.) in der Köhlerwandhöhle bei Lehenrotte (NÖ.). – Die Höhle (Wien) 13 (3): 68.

(2) Ehrenberg, K. (Red.) (1966): Die Teufels- oder Fuchsenlucken bei Eggenburg (NÖ.). – Denkschr. Österr. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl. (Wien) 112: 158 Seiten.

(3) FELGENHAUER, F. (1980): Ein jungpaläolithisches Steinschlägeratelier aus Stillfried an der March, Niederösterreich. Zur Herstellungstechnik von Microgravettespitzen. – Veröff. Österr. Arbeitsgem. Ur- u. Frühgeschichte (Wien) 4 (1980): 7–40, Taf. 1–11. = Forschungen in Stillfried (Wien) Band 4: 7840, Taf. 1–11.

(4) RABEDER, G. (1977): Wirbeltierreste aus einer mittelpleistozänen Spaltenfüllung im Leithakalk von St. Margarethen im Burgenland. – Beitr. Paläont. Österr. (Wien) 3: 79–103.

(5) KAUFMANN, A. & BROECKER, W. (1965): Comparison of Th^{230} and C^{14} ages for carbonate materials from lakes Lahontan and Bonneville. – J. Geophys. Res. 70 (1965): 4039.

(6) CHERDYNTSEV, V V (1955): Tr. III sessi komissii po. opredeleniyu absolyutnogo voziasta. – Izv. Akad. Nauk. SSSR (1955): 175.

(7) ROSHOLT, J. M., SHIELDS, W. R. & GARNER, E. L. (1963): Isotopic fractionation of Uranium in sandstone. – Science 139 (1963): 224.

(8) THURBER, D. L. (1962): Anormalous U^{234}/U^{238} in nature. – J. Geophys. Res. 67 (1962): 4518.

(9) THURBER, D. L. (1963): Uranium and Thorium disequilibria in continental waters and sediments. – Paper presented at Conf. on Geochronology of Marine and Fluviatil Sediments, Oak Ridge, Tennessee, USA, 1963.

(10) BLANCHARD, R. L. (1965): U^{234}/U^{238} rations in coastal marine waters and calcium carbonats. – J. Geophys. Res. 70 (1965): 4055.

(11) ROSHOLT, J. N. & SZABO, B. J. (1968): Determination of Protactinium by neutron activation and alpha spectrometry. – Proc. Int. Conf. Modern Trends in Activation Analysis, Gaithersburg, M. d., National Bureau of Standards (1968): 368.

(12) KU, Teh-lung (1968): Protactinium 231 method of dating coral from Barbados Island. – J. Geophys. Res. 73 (1968): 2271.

(13) MANGINI, A. & SONNTAG, C. (1977): Pa^{231} dating of deepsea cores via Th^{227} counting. – Earth Planet. Sci. Lett. 37 (1977): 251.

(14) HANSEN, R. O. & BEGG, E. L. (1970): Age of quarternary sediments and soils in the Sacramento area, California, by Uranium and Actinium series dating of vertebrate Fossils. – Earth Planet. Sci. Lett. 8 (1970): 441.

(15) ROSHOLT, J. N. (1967): Open system model for Uranium series dating of pleistocene samples. – In: Radioactive Dating and Methods of Low-Level Counting. Proc. Symp. Monaco. IAEA Publ. SM-87/50 (1967): 299.

(16) SZABO, B. J. & ROSHOLT, J. N. (1969): Uranium series dating of pleistocene molluscan shells from Southern California – A open system model. – J. Geophys. Res. 74 (1969): 3253.

(17) SAKANOUE, M., KONISHI, K. & KOMURA, K. (1967): Stepwise determinations of Thorium, Protactinium and Uranium isotopes and their applications in geochronological studies. – In: Radioactive Dating and Methods of Low-Level Counting, Proc. Symp. at Monaco. IAEA Publ. SM-87/28 (1967): 313.

(18) SZABO, B. J. (1971): A comment concerning the applicability of the "open system" model to dating of fossil Bones from San Joaquin soil, California. – Earth Planet. Sci. Lett. 10 (1971): 252.

(19) HILLE, P. (1979): An open system model from Uranium series dating. – Earth Planet. Sci. Lett. 42 (1979): 138.
(20) KORKISCH, J. *et al.* (in Vorbereitung): Uranium-Series method applied to fossil bone. – J. Radioanal. Chemistry (in Vorbereitung).
(21) WILD, E. (1981): Über kernphysikalische Methoden zur Altersbestimmung von Fossilien. – Diss. natw. Fak. Univ. Wien (Wien).
(22) Siehe (13).
(23) KORKISCH, J. *et al.* (1977): Chemical analysis of manganese nodules part II. Determination of Uranium and Thorium after anion-exchange separation. – Anal. Chem. Acta 90 (1977): 151.
(24) Siehe (17).
(25) SOTOBAYASHI, T., HASHIMOTO, T. & KUDO, H. (1978): A New electrodeposition method of Uranium (VI) from its 1,2-dichloroethane solution of polyethylene glycol. – Radioanal. Lett. 36 (1978): 1.